

# ニホンジカの超音波周波数域を含む純音刺激に対する行動

堂山宗一郎・江口祐輔・上田弘則

Key words : ニホンジカ, 聴覚刺激, 超音波, 行動, 可聴域, 被害対策

## 目 次

|            |   |         |    |
|------------|---|---------|----|
| I 緒 言      | 1 | V 摘 要   | 8  |
| II 材料および方法 | 2 | 謝 辞     | 8  |
| III 結 果    | 3 | 引用文献    | 8  |
| IV 考 察     | 5 | Summary | 11 |

## I 緒 言

現在, 日本においてニホンジカ (*Cervus nippon*) による農林業被害が深刻な問題となっている。2014年度のニホンジカによる農作物被害金額は65億円に達し, 被害面積と被害量も含めたすべての調査項目において獣類の中で最も多い<sup>25)</sup>。また, ニホンジカにおいては農作物被害の主要加害獣であるイノシシ (*Sus scrofa*) やニホンザル (*Macaca fuscata*) とは異なり, 林業に対する被害も多く発生しており, 2014年度の被害面積は7千haに及んでいる<sup>27)</sup>。

ニホンジカによる被害は林業分野から発生し, 森林内における個体数調整を中心とした対策が講じられてきた<sup>20)</sup>。一方, 現在は農業分野まで被害が及んでおり, 農地およびその周辺では, 本来の生息地である森林とは異なる防除対策が望まれている。特に近年は, 農地および集落周辺の環境管理, 効果的な侵入防止柵の設置, 加害個体の選択的捕獲の三項目をバランスよく行う総合的対策が推奨されている<sup>10, 20)</sup>。しかし, 対策規模が広大な造林地や過疎・高齢化の進む中山間地域の農家では, 総合的対策の実施には経済的・労働的負担が大きいという先入観から, より簡便な防除手法を望む声がある。

簡便な防除手法の1つとして, 動物の聴覚を利用

した音による防除がさまざまな動物種において試されてきた。音による被害防除は, 装置の操作が簡単であり, 比較的広範囲に効果を及ぼすことができ, 匂いなどと違い必要な時に実施できるなどの利点がある<sup>26)</sup>といわれている。アメリカでは古くから哺乳類や鳥類を対象とした音発生装置が開発販売されており<sup>24)</sup>, 日本でも動物忌避効果があるとする音発生装置が市販されているが, その効果は不明または科学的検証がなされていないものが多い<sup>4, 26)</sup>。また, 利用されているさまざまな音の中でも特に超音波は, 嫌悪効果をもたらす特別な性質があるといわれており<sup>4)</sup>, 市販の防除機器にも超音波を発生させるものもあるが, 確実な防除効果を示す科学的証拠はまだ無い<sup>4)</sup>。

シカ類を対象とした音による防除も世界的に利用されており, その効果を科学的に検証した研究は, 主に北米で行われている。これらの研究において, 爆音機<sup>1, 14)</sup>や超音波装置<sup>2, 6, 7)</sup>, シカ類の警戒声とディストレスコール<sup>15)</sup>などが検証され, その効果が無い, もしくは早期の慣れが生じることが指摘されている。また, 北米では自動車とシカの衝突事故が大きな社会問題となっており<sup>5, 30)</sup>, その対策として音により車の存在を認識させるディアホイッスルの効果が研究されている<sup>28, 29)</sup>。さらに, これらの問題の主な対象であるオジロジカ (*Odocoileus*

virginianus) に関しては、音による対策の効果検証の科学的根拠となる、飼育個体を用いた可聴域の測定<sup>16)</sup>や超音波周波数域の純音に対する反応に関する研究<sup>34)</sup>が行われている。

一方、日本においても、農地および造林地におけるニホンジカを対象とした音による防除が行われている<sup>23)</sup>。しかし、その効果の科学的検証はほとんど行われていない。自動車や鉄道車両との衝突回避への音の利用に関しては、被害の深刻な北海道においてニホンジカの亜種であるエゾシカ (*Cervus nippon yesoensis*) を対象としたいくつかの研究<sup>19, 31, 32)</sup>が行われているが、その効果に関する確実な結論は出ていない。また、ニホンジカでは、これまでに可聴域やさまざまな周波数域の音に対する行動の詳細な研究も行われていないことから、防除効果の評価に必要な不可欠な基礎的知見が非常に不足している。

そこで本研究では、ニホンジカの聴覚を利用した音による防除技術の効果を評価するための基礎的知見を得ることを目的とし、低周波から超音波までの11段階の周波数に設定した純音刺激に対して飼育ニホンジカがどのような行動を示すかを調査し、それらの反応を基に可聴域の推定も行った。

## II 材料および方法

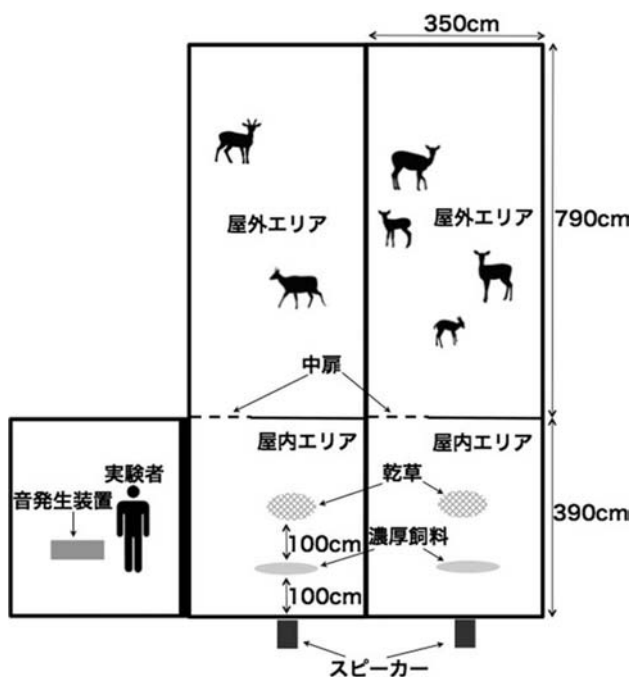
実験は、鳥根県大田市に位置する農研機構西日本農業研究センター大田研究拠点のシカ舎にて行った。シカ舎で飼育しているニホンジカ (ホンシュウジカ *Cervus nippon centralis*) の2歳齢オス2頭 (以下、オスA・オスB)、推定4歳齢以上の成獣メス2頭 (以下、メスC・メスD)、12ヶ月齢の幼獣オス1頭 (以下、1E)、12ヶ月齢の幼獣メス1頭 (以下、1F) を実験に供試した。

シカ舎には2つの飼育ペンがあり、供試個体を2頭の2歳オスグループと、2頭の成獣メスとその子である2頭の幼獣グループの2群に分けて各ペンで飼育した。飼育ペンの概要および実験時の機材の配置は、第1図に示した。

実験には、富士平工業株式会社と著者らが協同で製作した音発生装置を使用し、装置で発生させた音はシステムスピーカー (DENON: SC-A55XG 再生周波数帯域43~120kHz, W160mm×H310mm×D

175mm) により出力した。スピーカーは、各ペンの屋内エリア前面に設けた高さ50cmの台の上に設置した (写真)。

実験で供試個体に提示した音 (以下、試験音) の周波数は50Hzから60kHzとした。100Hz以下の低周波を含む中-低周波数領域6段階 (50~10kHz) と人間が聞くことのできない20kHz以上の超音波領域5段階 (20k~60kHz) の音に設定して提示した。出力波形は最も単純な音である純音とした。試験音の音圧は、どの周波数においてもスピーカーから1mの位置で70dBとなるように設定したが、後述の



第1図 実験場所の概要

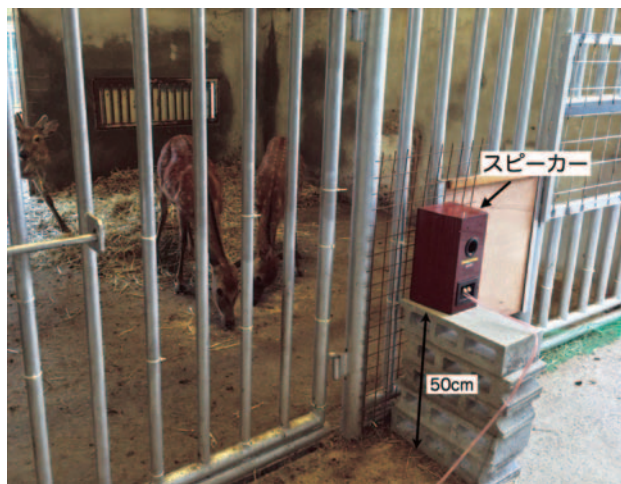


写真 スピーカーの設置状態

第1表 試験音の周波数設定と提示順序

|      | 1日目  | 2日目   | 3日目   | 4日目   | 5日目   | 6日目          | 7日目          |
|------|------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|
| 1試行目 | 5kHz | 10kHz | 500Hz | 30kHz | 50Hz  | 50kHz        | 60kHz (80dB) |
| 2試行目 | 5kHz | 1kHz  | 20kHz | 100Hz | 40kHz | 50kHz (80dB) | -            |

第2表 音に対する反応のカテゴリー

| 反応   | 定義                       |
|------|--------------------------|
| 静止   | 頭を上げて静止する                |
| 定位   | スピーカーの方向へ頭を向ける, スピーカーを見る |
| 耳介動作 | 両方の耳介をスピーカーの方向へ向ける       |
| 警戒   | 臀部の毛を逆立てる, 片前肢を上げる       |
| 驚愕   | 瞬間的な筋収縮により体を「ビクッ」とさせる    |
| 逃避   | スピーカーから離れて屋外エリアへ移動する     |
| 無反応  | 音提示前の行動を続ける              |

とおり, 供試個体の反応がみられなかった場合の確認試行においては80dBとした。試験音の提示は, 各周波数につき1試行とした。試験音は, ニホンジカの警戒声<sup>22)</sup>を模倣し, どの周波数においても1秒未満の提示を1秒の間隔を空けて2回行うことで「ピッ・ピッ」という断続音となるように設定した。この断続音を各周波数につき1試行内に2回, 供試個体が餌を摂食している状態の時に提示した。実験時の機器の操作による音の提示は, 1名の実験者が供試個体から姿のみえないシカ舎内の部屋で行った(第1図)。

実験は, スピーカーおよび行動記録用のビデオカメラに対する供試個体の馴致を1週間行った後, 2016年6月から7月にかけて行った。実験は1日2試行とし, 1試行目は11:30から開始し, 2試行目は17:00から開始した。設定した周波数と提示順序は第1表に示した。実験1日目のみ, 音の提示に対する馴致も兼ねて5kHzの試験音を2試行提示した。

実験手順は, まず供試個体を屋外エリアに移動させ, 飼育ペンの中扉を閉めてから, 屋内エリアに牛用育成濃厚飼料150g/頭/試行とイタリアンライグラス乾草500g/頭/試行を設置した。次にオスグループのみ中扉を開け, 試行を開始した。試行中の供試個体は, 屋外エリアと屋内エリアを自由に移動できる状態とした。

音に対する反応を明確にするために, 餌の摂食中に試験音を提示した。日常の飼養管理における観察から, どちらのグループも濃厚飼料から摂食を開始

し, それを2~3分程度で食べ終わると乾草の摂食を開始することを確認していたため, 1回目の試験音の提示は濃厚飼料摂食時に, 2回目の提示は乾草摂食時に行った。1回目と2回目の提示は, 5分以上の間隔を空けて行った。2回目の提示から5分を経過した時点で試行を終了とした。オスグループの試行終了後に, メスグループにおいて同様の手順で行った。

実験時の供試個体の行動は, デジタルビデオカメラ (Sony HDR-CX900) で撮影した。供試個体の行動は, 著者らがこれまでに行ったイノシシやハクビシン (*Paguma larvata*), アライグマ (*Procyon lotor*) の類似研究<sup>8, 12)</sup>と, シカ類の既存研究<sup>16, 19, 31)</sup>を元に, 音に対する反応のカテゴリーを作成した(第2表)。音提示中から音提示直後5秒以内に発現時間が1秒以上の「静止」, 「定位」, 「耳介動作」の反応を供試個体が示した場合, 試験音を知覚していると判断した。これらの反応を過半数の個体が示さなかった場合, 次の試行において音圧を80dBにあげて再度同じ周波数の試験音を提示した。

供試個体の音に対する反応の開始から餌の摂食を再開するまでの時間を計測し, この時間を反応発現時間として, 周波数間および個体間での比較をフリードマン検定および多重比較 (シェイファー法) により行った。統計解析には, R (3.3.0 GUI 1.68 Mavericks build) を用いた。

実験時の背景雑音の音圧は, 普通騒音計 (RION (株): NA-09) により測定し, 52~55dBであることを確認した。

実験は農研機構西日本農業研究センター (以下当研究センター) 動物実験実施要領に従い, 当研究センター動物実験委員会の承認を受けて行った (承認番号: 16 鳥獣害01)。

### Ⅲ 結 果

各供試個体における試験音に対する反応を第3表

第3表 試験音に対する供試個体の反応

| 個体 | 周波数 (Hz) |     |     |    |    |     |     |     |     |     |           |           |
|----|----------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----------|
|    | 50       | 100 | 500 | 1k | 5k | 10k | 20k | 30k | 40k | 50k | 50k(80dB) | 60k(80dB) |
| ♂A | ×        | ◎   | ◎   | ◎  | ◎  | ○   | ◎   | ◎   | ○   | ×   | ○         | ×         |
| ♂B | ×        | ◎   | ◎   | ◎  | ◎  | ×   | ◎   | ◎   | ○   | ×   | ◎         | ×         |
| ♀C | ×        | ◎   | ◎   | ◎  | ◎  | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   | ×   | ○         | ×         |
| ♀D | ×        | ◎   | ◎   | ◎  | ◎  | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   | ○   | ○         | ×         |
| 1E | ×        | ◎   | ◎   | ◎  | ◎  | ◎   | ◎   | ◎   | ×   | ×   | ○         | ×         |
| 1F | ×        | ○   | ◎   | ◎  | ◎  | ◎   | ○   | ○   | ○   | ×   | ×         | ×         |

◎：静止・定位・耳介動作あり

○：定位・耳介動作あり，静止なし

×：無反応

に示した。

オスAは周波数が100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 20kHz, 30kHzの試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示し, 周波数が10kHz, 40kHzの試験音に対しては定位および耳介動作の反応を示した。オスBは周波数が100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 20kHz, 30kHzの試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示し, 周波数が40kHzの試験音に対しては定位および耳介動作の反応を示した。メスCは周波数が100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHz, 40kHzの試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示した。メスDは周波数が100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHz, 40kHzの試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示し, 周波数が50kHzの試験音に対しては定位および耳介動作の反応を示した。1Eは周波数が100Hz, 500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz, 30kHzの試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示した。1Fは周波数が500Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz, の試験音に対して静止, 定位, 耳介動作の反応を示し, 周波数が100Hz, 20kHz, 30kHz, 40kHzの試験音に対しては定位および耳介動作の反応を示した。

周波数が50Hzの最も低い試験音に対しては, すべての供試個体が反応を示さなかった。50Hzの試験音は, 音圧を80dBにあげるとスピーカーが強く振動し, 破損する可能性があったため, 低周波数領域における実験はこの段階で終了した。

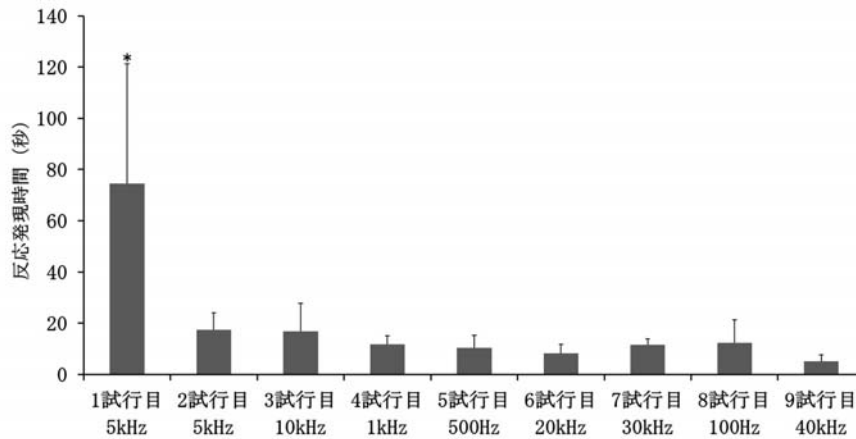
周波数が50kHzの試験音に対して反応を示したのがメスDだけであったため, 音圧を80dBにあげて再提示したところ, オスBは静止, 定位, 耳介動作

の反応を示し, オスA, メスC, メスDおよび1Eは定位および耳介動作の反応を示した。1Fは反応を示さなかった。

周波数50kHz, 音圧80dBにおいて5頭の供試個体が反応を示したため, 周波数60kHzの試験音においても音圧を80dBに設定して提示したが, すべての個体が反応を示さなかった。60kHzの試験音は, 実験装置の機能上これ以上音圧をあげることが困難であったため, 高周波数領域における実験はこの段階で終了した。

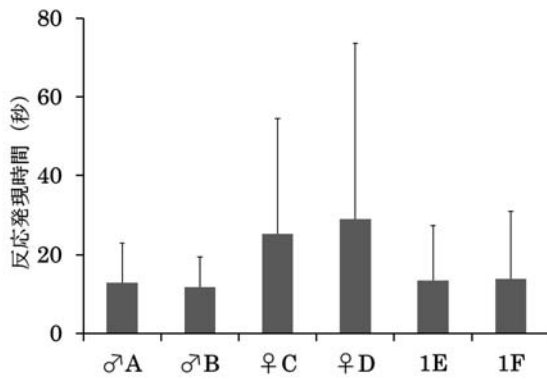
警戒, 逃避および驚愕は, 実験1日目の5kHzの1試行目においていずれかの反応をすべての供試個体が示した。この試行においてオスAは警戒および驚愕, オスBは驚愕, メスC, メスD, 1Eおよび1Fは警戒および逃避を示した。そのほかの周波数では, オスBが20kHzで驚愕, メスCが40kHzで驚愕, 1Fが10kHzで驚愕および逃避を示した。

餌の摂食中に試験音を提示したことにより, 摂食を一時的に止めスピーカー方向へ頭を向け静止したり, 咀嚼は続けるものの餌からは口を離してスピーカー方向へ頭を向けるといった明瞭な反応が認められた。100kHzから40kHzまでの反応発現時間を周波数間で比較した結果, 5kHzの1試行目(平均74.4秒)がそのほかの試行(平均5.1~17.5秒)と比較して有意( $P < 0.01$ )に長くなった(第2図)。また, 100Hzから40kHzまでの反応発現時間を個体間で比較した結果, フリードマン検定において個体間で有意( $P < 0.05$ )な違いがあった。多重比較においては有意な違いは認められなかったが, メスの2個体がほかの4個体よりも反応発現時間が長くなった(第3図)。



第2図 提示順における供試個体の音に対する反応

発現時間 (平均値 + SD)

\* :  $P < 0.01$ 

第3図 各供試個体の音に対する反応発現時間 (平均 + SD)

フリードマン検定において個体間で有意差あり ( $P < 0.05$ )

#### IV 考 察

シカ類の可聴域に関する研究は世界的にほとんど行われていないが、ニホンジカと体格が比較的類似しているオジロジカにおいては、オペラント条件付けによる詳細な可聴域調査が行われている<sup>16)</sup>。この研究によると、オジロジカは500Hzから32kHzまでの周波数域の音を高感度に知覚することができ、それより低いもしくは高い周波数域では閾値の上昇がみられ、音圧60dBでは115Hzから54kHzまでの周波数域を知覚可能であり、32Hzでは96.5dB、64kHzでは93dBの音圧でなければ知覚できなかったと報告されている<sup>16)</sup>。また、ニホンジカより体格の大き

いトナカイ (*Rangifer tarandus*) における研究では1kHzから16kHzまでの周波数域の音を高感度に知覚でき、音圧60dBでは70Hzから38kHzまでの周波数域を知覚可能であったと報告されている<sup>13)</sup>。これらの既存研究の結果と本実験結果を比較すると、ニホンジカとオジロジカの可聴域は非常に類似していることが示唆された。本実験の高周波数域におけるニホンジカの反応は、30kHzまでは静止して音源定位を行う個体が多かったが、40kHzでは静止反応をみせる個体が少なくなったため、オジロジカと同様に30kHz付近までは高感度で知覚できる可能性が考えられた。

本実験において、供試個体は音圧70dBでは100Hzから40kHzまでの周波数域の音に対して知覚する反応を示した。音圧を80dBに上昇させると、50kHzの音に対しても6頭中5頭の供試個体が反応を示した。今回の実験はオペラント条件付けに基づく実験心理学的手法による可聴域調査ではないため、ニホンジカの正確な可聴域は把握できないが、これらの結果から100Hzから50kHzまでの周波数域の音を知覚している可能性が高いことが示唆された。

本実験は、少頭数の群れで飼育している状態で行ったため、供試個体間の相互作用により反応の同調や促進があった可能性も考えられた。しかし、供試個体の反応は、音の提示により瞬時に発現しており、明確な反応の相互作用は確認できず、個体ごとに音

を知覚したことによる反応である可能性も高かった。ニホンジカを含めたシカ類は、群れで行動することが多く、群れから隔離して単独状態にすると通常時より強い警戒心や恐怖心を抱かせる可能性が高く、そのような状態では本来の行動が発現しないため、個別での実験が困難である。実際に、音に対するシカ類の反応を調査したこれまでの研究<sup>2, 6, 14, 15, 35)</sup>は、野生の群れにおける試験が多く、個体識別や個体ごとの詳細な行動観察は少ない。飼育個体においても1頭ごとに実験を行った研究は、前述の可聴域調査<sup>16, 13)</sup>程度であるが、どちらの研究も供試頭数は2頭である。これらの研究と比較して本研究は、行動研究のために少頭数の群れで飼育している6頭のシカを供試し、詳細な行動観察を行った稀有な事例であり、群れごとの実験ではあるものの、科学的に重要な知見が得られたと考えられる。

本実験時における実験施設の背景雑音の音圧は、50～55dBの間で推移していたため、提示した音は、背景雑音によりある程度のマスキングを受けていたものと考えられた。供試個体の聴覚に対するマスキングの影響を直接評価することはできないが、同程度の背景雑音下で行われたウシ (*Bos taurus*) の聴覚測定試験<sup>33)</sup>においては、得られた結果よりもウシの聴覚閾値が10～20dB程度低い可能性が示唆されている。このことから、ニホンジカにおいても、より小さい音圧でも100Hzから50kHzまでの周波数域の音を知覚することが可能であると推察された。

哺乳類の聴覚における機能上の耳間距離と高周波数聴覚限界の間には有意な負の相関があると報告<sup>18)</sup>されており、体格が同程度であるオジロジカとニホンジカの可聴域が類似していることを裏付けていると考えられた。一方、トナカイの可聴域における高周波数限界が、オジロジカやニホンジカと比較して低いことも、体格が関係していると考えられた。

本実験により、ニホンジカは人間が聴くことのできない20kHz以上の超音波周波数域を知覚できることが明らかとなった。ニホンジカは13種類の音声を発することが報告<sup>22)</sup>されており、すべての音声の基本周波数が100Hzから5kHzに含まれ、警戒声も基本周波数の最低域が平均1.824kHz、最高域は平均2.688kHzであった<sup>22)</sup>。これらの周波数域において本実験の供試個体は、静止や定位、耳介動作の反

応を示したことから、ニホンジカが音声コミュニケーションで用いている音声を聴覚により確実に知覚しており、その周波数域は聴覚感度が高い領域に含まれていることが示唆された。しかし、発声音に超音波周波数域は含まれていないため、ニホンジカが超音波を聴くことができる聴力を有していることは、音声コミュニケーションに必要不可欠ということではないと考えられた。植竹と工藤<sup>33)</sup>は、ウシが同種の発声音に含まれない高周波数域を聴くことができる理由として、生存に重大な影響を及ぼす可能性のある捕食者などの接近時に生じる音などにこのような高周波数域が含まれ、それを知覚することができるように進化してきた結果であると示唆している。また、HeffnerとHeffner<sup>17)</sup>は、哺乳類が高周波数域を聴くことができる理由として、音源を定位する際の、特に前後方向と上下方向の混同を防ぐために高周波数の音を重要な合図として利用していると述べている。被食者であるニホンジカにおいても、捕食者の接近に関する聴覚情報は非常に重要であり、自らに迫る危険を音で感知し、その定位を正確に行うためにも超音波を含む高周波数域を聴くことが可能であると考えられた。

本実験においてニホンジカは、超音波に対して定位や静止などの音を聴く反応を示したが、警戒反応や逃避反応はどの個体も示さなかった。海外におけるシカ類に対する超音波の防除効果の検証実験においても、シカは超音波を聴くことはできるが、危険なものとして認識しないこと<sup>7)</sup>、新奇物として警戒反応を示すものの1日で試験農地に侵入し、1週間後に被害が再発し、被害量もまったく減らなかったこと<sup>6)</sup>、モーションセンサーを用いてシカの侵入に合わせて超音波を提示しても、侵入を抑制できなかったこと<sup>2)</sup>が報告されている。本実験と類似した純音に対する行動の調査として、大規模な放飼場で飼育されているオジロジカに対して周波数が28kHzの純音の提示が行われているが、耳介動作や音源の定位はみられるものの、行動は変化しなかったと報告されている。本実験結果とこれらの報告は、シカ類において超音波を忌避することはほとんど無く、それを使用した防除技術に効果は無い、もしくは非常に限定的であることを示唆した。また、乾燥大気中で1kHzの音なら60m、10kHzなら15m、150kHz

なら1 mでエネルギーが半減すると報告されているように、周波数が高いほど音は減衰率が大きいという音響物理学的特性<sup>4)</sup>があり、十分な信号レベルの音を発生させることは困難で、もし十分な音圧を発生させられたとしても、その装置も高価なものとなる<sup>3)</sup>。そのため、大規模な農地での超音波による防除装置の使用は利用価値が低いと考えられた。

一方、本実験において、実験初日の1試行目に提示した周波数5 kHzの音に対してすべての供試個体が、警戒もしくは逃避反応を示した。しかし、この反応は、試験音が提示される環境の変化、もしくは試験音を新規物と認識しての行動である可能性が高い。2試行目以降に大きく反応発現時間が減少する結果は、ニホンジカが音による環境の変化もしくは新規物である音に対して早急に馴化することを示唆している。海外での野外試験においても、シカは音に対して急速に慣れることが指摘されている<sup>2, 14)</sup>。日本においてもエゾシカの動物園飼育個体に同種の警戒声を提示した試験において、同一個体に繰り返し提示すると5回ほどで慣れることが報告されている<sup>19)</sup>。シカ以外においても、イノシシではニオイや光、音による忌避効果は、それらによる環境の変化に対して警戒するため、一時的な効果に止まり、その後は侵入を許しているのが現状であると述べられている<sup>11)</sup>。これらのことから、ニホンジカに対して農地などで音による防除を行った場合、一時的に侵入を抑制する可能性もあるが、その原因は音を忌避している可能性は低く、必ず慣れることを考慮しなければならないと考えられた。

農地および森林において、音によりニホンジカの侵入を防止できる可能性は低いが、自動車との衝突防止を目的とした音の利用は可能性があるものと考えられた。本実験において、警戒や逃避反応は慣れにより早急に示さなくなったものの、実験が進行しても可聴域の周波数の音であれば、ニホンジカは音を聴いたり音源を定位する反応を示した。シカとの衝突を防止するために自動車に取り付けるディアホイッスルは、音によってシカの動きを止めることが目的の1つとされており<sup>21)</sup>、一時的にシカの横断を防ぐ対策が望まれている<sup>31)</sup>。これらを考慮すると、衝突防止対策には必ずしもシカを忌避させる必要はなく、シカに自動車の存在をいかに認識させるかが

重要であり、比較的広範囲に効果を及ぼすことができるという音の利点<sup>26)</sup>は有効であると考えられた。実際に、北海道において音を利用したエゾシカとの衝突防止効果の検証試験がいくつか行われており、断続電子音タイプのディアホイッスルが、道路周辺のエゾシカに静止や注視反応を発現させることにより道路への飛び出しを防ぐ効果のあることが示唆されている<sup>31)</sup>。同様に、エゾシカにおいて同種の警戒声の提示により、道路への飛び出しを抑制する効果も示唆されている<sup>19)</sup>。これらの検証結果に加え、本実験により明らかとなったニホンジカの可聴域を基礎的知見とすることにより、より科学的な効果検証ができると考えられる。

しかし、道路周辺に出現し滞在するシカをそこから遠ざける必要も指摘されているが<sup>31)</sup>、現段階ではニホンジカを音により忌避・逃避させることは困難である。特に、餌を摂食している状況では音を提示しても、聴く反応ですら短時間しか発現しないことは本実験の結果からも明らかである。近年、シカの農業被害拡大の要因として、道路周辺の崩落や侵食を防止するために人工的に植栽された牧草が、ニホンジカの重要な餌資源となり、死亡率の低下や人間への慣れを助長させているという指摘がなされている<sup>9, 20)</sup>。ニホンジカと自動車との衝突の増加は、道路周辺に豊かな餌環境が存在することにより、多くの個体がそこへ誘引されることも要因であると考えられる。音による衝突防止に一定の効果があったとしても、餌資源の豊富な状況において摂食中のニホンジカに対しては、その効果が十分に発揮できない可能性があることも、本実験から示唆される。今後は、音による道路侵入防止効果を検証するとともに、餌の有無によるニホンジカの音に対する行動の違いを調査し、道路周辺の餌環境との関連も調査する必要があると考えられた。

以上のことから本研究では、ニホンジカが100Hzから50kHzの周波数帯の純音に対して、音を聴く反応を示したことから、ニホンジカの可聴域にこれらの周波数帯が含まれることが初めて明らかとなった。また、この知見は、ニホンジカと自動車の衝突防止対策における音の効果検証に関する研究の科学的裏付けとなるものであった。さらにニホンジカは、人間の聴くことのできない周波数20kHz以上の超音

波を聴くことができる能力を有するが、忌避や嫌悪を示す反応はみられなかったことから、農林業分野における超音波を利用した被害対策技術の効果は期待できないと考えられた。

## V 摘 要

日本においてニホンジカ (*Cervus nippon*) による農林業被害が増加している。ニホンジカの聴覚を利用した音による防除が簡便な方法として用いられているが、その効果を検証した科学研究は少なく、ニホンジカの聴覚に関する知見もほとんどない。本研究では、音による防除技術の効果を検証するための基礎的知見を得ることを目的とし、11種類の周波数の純音に対するニホンジカの行動を調査した。飼育ニホンジカ (ホンシュウジカ) 6頭を供試し、50Hzから60kHzまでの11種類の周波数の純音を提示し、提示中および提示後の行動を記録した。供試個体は、周波数が100Hzから50kHzの音に対して、静止やスピーカーの定位、耳介動作といった音を聴く反応を示したことから、ニホンジカの可聴域にはこれらの周波数域が含まれ、20kHz以上の超音波を聞くことも可能であることが示唆された。しかし、どの周波数の音に対しても、警戒や忌避反応を示す個体はおらず、農林地において音によるニホンジカの防除は困難であると考えられた。また、市販の防除用超音波発生装置などの純音を用いた防除技術にも効果がほとんど無いと考えられた。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり供試個体を提供していただいた池田動物園の皆様には感謝申し上げます。本研究は、農林水産省委託プロジェクト「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発 (野生鳥獣被害拡大への対応技術の開発)」の支援を受けて行った。

## 引用文献

- 1) Belant, J. L., T. W. Seamans and C. P. Dwyer 1996. Evaluation of propane exploders as white-tailed deer deterrents. *Crop Protection* 15: 575 – 578.
- 2) ———, ——— and L. A. Tyson 1998. Evaluation of electronic frightening devices as white-tailed deer deterrents. *Proceedings 18th Vertebrate Pest Conference* 18: 107 – 110.
- 3) Bender, H. 2003. Deterrence of Kangaroos from agricultural areas using ultrasonic frequencies: efficacy of a commercial device. *Wildlife Society Bulletin*. 31 (4): 1037 – 1046.
- 4) Bomford, M. and P. H. O'Brien 1990. Sonic deterrents in animal damage control: a review of device tests and effectiveness. *Wildlife Society Bulletin*. 18: 411 – 422.
- 5) Conover, M. R. 1997. Monetary and intangible valuation of deer in the United States. *Wildlife Society Bulletin* 25: 298 – 305.
- 6) Curtis, P. D., C. Fitzgerald and M. E. Richmond 1997. Evaluation of the Yard Guard ultrasonic yard protector for repelling white-tailed deer. *Proceedings of the Eastern Wildlife Damage Control Conference* 7: 172 – 176.
- 7) DeNicola, A. J., K. C. VerCauteren, P. D. Curtis and S. E. Hygnstrom 2000. Managing white-tailed deer in suburban environments technical guide. Cornell Cooperative Extension, the Wildlife Society-Wildlife Damage Management Working Group, and the Northeast Wildlife Damage Research and Outreach Cooperative. Ithaca, NY.
- 8) 堂山宗一郎 2008. 生物由来・非生物由来の音に対するイノシシ、ハクビシンおよびアライグマの反応. 麻布大学大学院獣医学研究科修士論文 (未公開).
- 9) ——— 2013. シカによる農作物被害はなぜ拡大するのか. 江口祐輔監修, 最新の動物行動学に基づいた動物による農作物被害の総合対策. 誠文堂新光社, 東京. 82 – 87.
- 10) 江口祐輔 2013 a. 野生鳥獣による農作物被害の対策. 江口祐輔監修, 最新の動物行動学に基づいた動物による農作物被害の総合対策. 誠文堂新光社, 東京. 14 – 19.
- 11) ——— 2013 b. 鳥獣害対策におけるヒューマ



- ンエラー．江口祐輔監修，最新の動物行動学に基づいた動物による農作物被害の総合対策．誠文堂新光社，東京．28 - 42.
- 12) ———・植竹勝治・田中智夫 2006. イノシシの行動制御技術開発のための嗅覚・聴覚刺激を用いた研究．麻布大学雑誌．13：178 - 182.
- 13) Flydal, K., A. Hermansen, P. S. Enger and E. Reimers 2001. Hearing in reindeer (*Rangifer tarandus*). *Journal of Comparative Physiology A*. 187 (4): 265 - 269.
- 14) Gilsdorf, J. M., S. E. Hygnstrom, K. C. VerCauteren, E. E. Blankenship and R. M. Engeman 2004a. Propane exploders and electronic guards were ineffective at reducing deer damage in cornfields. *Wildlife Society Bulletin* 32: 521 - 531.
- 15) ———, ———, ———, ———, ——— and G. M. Clements 2004b. Evaluation of a deer activated bio-acoustic frightening device for reducing deer damage in cornfields. *Wildlife Society Bulletin* 32: 515 - 523.
- 16) Heffner, H. and H. E. Heffner 2010. The behavioral audiogram of whitetail deer (*Odocoileus virginianus*). *Journal of the Acoustical Society of America* 127: 111 - 114.
- 17) Heffner, H. E. and R. S. Heffner 2008. High-frequency hearing. Edited by P. Dallos, D. Oertel, and R. Hoy, *Handbook of the Senses: Audition*. Elsevier, New York. 55 - 60.
- 18) Heffner, R. S. and H. E. Heffner 1983. Hearing in large mammals: Horses (*Equus caballus*) and cattle (*Bos taurus*). *Behavioral Neuroscience*. 97 (2): 299 - 309.
- 19) 石村智恵・鹿野たか嶺・野呂美紗子・原文宏・柚原和敏・杉本加奈子・柳川久 2013. エゾシカの警戒声を用いた交通事故防止策の試み．野生生物と交通研究発表会講演論文集．12：33 - 38.
- 20) 井上雅央・金森弘樹 2006. 山と田畑をシカから守る．農山漁村文化協会，東京．
- 21) Midwest regional university transportation center deer- vehicle crash information clearinghouse 2003. DEER- VEHICLE CRASH COUNTERMEASURE TOOLBOX: A DECISION AND CHOICE RESOURCE. 13 - 21.
- 22) Minami, M. and T. Kawamichi 1992. Vocal repertoires and classification of the sika deer *Cervus nippon*. *Journal of the Mammalogical Society of Japan*. 17 (2): 71 - 94.
- 23) 三浦慎吾 2002. 各論ニホンジカ．江口祐輔・三浦慎吾・藤岡正博 編著，鳥獣害対策の手引き．社団法人日本植物防疫協会，東京．57 - 67.
- 24) Mix, J. 1984. Researchers debunk controlling insects with ultrasound. *Pest Control*. 52: 26 - 28.
- 25) 農林水産省．2015. 全国の野生鳥獣による農作物被害状況について（平成26年度），農林水産省農村振興局農村政策部農村環境課鳥獣対策室，2016年5月1日参照，URL：<http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hzyokyo2/h26/index.html>
- 26) 岡ノ谷一夫・中村和雄 1996. 音による追い払い．植物防疫特別増刊号「鳥獣害とその対策」．48 - 53.
- 27) 林野庁．2015. 野生鳥獣による森林被害，林野庁森林整備部研究指導課森林保護対策室，2016年5月1日参照，URL：<http://www.rinya.maff.go.jp/j/hogo/higai/tyouju.html>
- 28) Romin, L. A. and L. B. Dalton 1992. Lack of response by mule deer to wildlife warning whistles. *Wildlife Society Bulletin* 20: 382 - 384.
- 29) Scheifele, P. M., D. G. Browning and L. M. Collins-Scheifele 2003. Analysis and effectiveness of deer whistles for motor vehicles: frequencies, levels, and animal threshold responses. *Acoustics Research Letters Online* 4 (3): 71 - 76.
- 30) Schwabe, K. A. and P. W. Schuhmann 2002. Deer-vehicle collisions and deer value: An analysis of competing literatures. *Wildlife Society Bulletin* 30: 609 - 615.
- 31) 鹿野たか嶺・柳川久・野呂美紗子・原文

- 宏・神馬強志 2010. 交通事故防止を目的としたエゾシカに対するディアホイッスルの有効性. 野生生物保護. 12 (2): 39 - 46.
- 32) 志村 稔・潮木知良・京谷 隆・中井一馬・早川敏雄 2015. 車両接近時の鹿の行動と音による行動制御の可能性. 鉄道総研報告. 29 (7) : 45 - 50.
- 33) 植竹勝治・工藤吉夫 1991. 牛における聴覚閾値のオペラント条件づけを用いた行動による測定. 日本畜産学会報. 62 (9) : 898 - 903.
- 34) Valitzski, S. A. 2007. Evaluation of sound as a deterrent for reducing deer-vehicle collisions. M.S. Thesis. University of Georgia, Athens, GA, USA
- 35) VerCauteren, K. C., J. A. Shivik and M. J. Lavelle 2005. Efficacy of an animal-activated frightening device on urban elk and mule deer. Wildlife Society Bulletin 33 (4): 1282 - 1287.

## Behavioral Responses to Pure-tone Stimuli with Eleven Different Kinds of Frequencies in Sika Deer (*Cervus nippon*)

Soichiro DOYAMA, Yusuke EGUCHI and Hironori UEDA

### Summary

Various sounds are being used for sika deer (*Cervus nippon*) control, but in fact, the efficacy has not been verified by scientific data. Additionally, the audibility range of sika deer was not investigated. The purpose of this study was to obtain knowledge, to examine the efficacy of the sounds on sika deer control, and to research behavioral responses to eleven different kinds of pure tone stimuli. Six captured sika deer were tested on the sound stimulus by using eleven different kinds of frequency pure-tones between 60kHz to 50Hz. And deer's behavioral responses to them were monitored. Sika deer showed some reactions paying attention with their ears pricked, finding a sound source, and standstill staring at the sound source at 50kHz and 100Hz. This result has suggested that these higher frequency bands are included in the audible range of sika deer, and it means they are able to hear ultrasonic. However, as all of sika deer did not show a significant vigilance and an aversive behavior, it is considered that the commercial ultrasonic generators for wild mammal control do not have an effect on sika deer control.